Kapitel 1

Widerstandsbestimmung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, festzustellen, ob die aktive Strömungsbeeinflussung von stumpfen Körpern mittels gepulster Druckluftjets über zwei rotierende Coanda-Walzen an der Körperrückseite eine nennenswerte Widerstandsreduktion gegenüber dem Fall ohne Beeinflussung erzielt.

Hierzu muss aus den Versuchsdaten einerseits die jeweiligen Widerstandswerte des Körpers bestimmt werden. Andererseits ist es erforderlich, abzuschätzen, ob diese Form der Strömungsmodifikation unter dem Schlussstrich Energie einsparen kann oder für die Aktuationsmechanismen möglicherweise sogar mehr Energie aufgewandt werden muss, als an Einsparung gewonnen werden kann.

Die Gleichungen für diese Zwecke sollen in diesem Kapitel hergeleitet und erläutert werden.

1.1 Bestimmung des Widerstands mittels des Impulssatzes

Die nachfolgenden Ausführungen orientieren sich eng an Huchos *Aerodynamik der stumpfen Körper* (S.52 ff.).

Der Widerstand des umströmten Stumpfkörpers kann ermittelt werden, in dem der Geschwindigkeitsverlauf der Strömung im Nachlauf betrachtet und ausgewertet wird.

Die Messung im Windkanal im Nachlauf liefert hierzu diverse Drücke - statische und dynamische.

Damit wir unser vereinfachtes mathematisches Modell auf die Versuchsdaten anwenden können, müssen die Drücke der einzelnen Sonden in der Form

$$\overline{p} = \sum_{i=0}^{n} \frac{p_i}{n} \tag{1.1}$$

zeitlich gemittelt werden. Die Summe aller über einen Zeitraum genommenen Drücke p_i wird hierbei durch die Anzahl n dieser Drücke innerhalb dieses Zeitraums geteilt.

Über den die Definition des dynamischen Drucks q bzw. den Zusammenhang

$$u_1(y) = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_g - p_\infty)} = \sqrt{\frac{2}{\rho}q(y)} \tag{1.2}$$

lässt sich der Geschwindigkeitsverlauf aus den gemessenen Drücken bestimmen.

Wobei u_1 die Strömungsgeschwindigkeit im Nachlauf in Abhängigkeit der y-Koordinate und q der gemessene dynamische Druck ist.

Der Widerstand des Körpers selber lässt sich nun finden, wenn ein Kontrollvolumen um den Körper gelegt und der Impulssatz in x-Richtung nach der resultierenden Druckkraft ausgewertet wird, wobei der Ausdruck für den Widerstand

$$W = \rho b \int_{-y}^{+y} u_1(U_\infty - u_1)dy \tag{1.3}$$

wird. Hier ist b die Breite des Modells senkrecht zur Zeichenebene, ρ die Dichte der umströmenden Luft und U_∞ die Geschwindigkeit der umgestörten Anströmung.

Diese Vorgehensweise ist legitim, wenn an der Messstelle im Nachlauf näherungsweise angenommen werden kann, dass der statische Druck wieder p_∞ entspricht und sich die Druckterme im Impulssatz auf beiden Seiten des Kontrollvolumens gegenseitig aufheben.

Des Weiteren ist der dimensionslose Widerstandsbeiwert C_w als

$$C_w = \frac{W}{\frac{\rho}{2}} U_\infty^2 bd \tag{1.4}$$

definiert.

Nach Einsetzen der Gleichung 1.3 ergibt sich für den Widerstandsbeiwert

$$C_w = \frac{2}{U_\infty^2 d} \int_{-y}^{+y} u_1(U_\infty - u_1)dy. \tag{1.5}$$

Die Integrationsgrenzen müssen an die vertikale Ausdehnung der Sonden am Messrechen im Nachlauf angepasst werden.

Mit Hilfe dieser Formeln kann dann ein mögliche Reduktion des Widerstandsbeiwertes für den Versuch mit rotierenden Walzen festgestellt werden.

Wird die Nachlaufdelle hingegen näher am Körper gemessen, weicht der dort gemessene statische Druck von p_∞ ab. Dies kann nach B.M. Jones[Zitat] durch eine Korrektur berücksichtigt werden.

Der neue Querschnitt in der StrÃ¶mung erhält den Index (2).

Die korrigierten Terme sollen hier lediglich angegeben werden. Für eine ausführlichere Darstellung sei auf die ausgewiesene Literatur verwiesen[Zitat].

Der Widerstand in diesem Fall ergibt sich zu

$$W = 2b \int \sqrt{p_{t2} - p_2}(\sqrt{p_{t\infty} - p_\infty} - \sqrt{p_{t2} - p_\infty})dy_2. \tag{1.6}$$

Wobei p_{t2} und $p_{t\infty}$ dem Totaldruck im Nachlaufquerschnitt bzw. dem Totaldruck der ungestörten Anströmung entspricht.

Für den Widerstandsbeiwert erhält man

$$C_w = 2 \int_{(2)} \sqrt{\frac{p_{t2} - p_2}{q_\infty}}(1 - \sqrt{\frac{p_{t2} - p_\infty}{q_\infty}} d(\frac{y}{d}). \tag{1.7}$$

1.2 Effizienzbetrachtung und Impulskoeffizient

Eine alleinige Betrachtung und ein Vergleich der C_w-Werte für den Fall ohne Druckluftzuführung und rotierende Walzen, sowie den Fall mit aktiver Stromungsbeeinflussung ist allerdings nicht ausreichend.

Die durch eine Widerstandsreduktion bedingte Leistungseinsparung im Anwendungsfall könnte durchaus durch die extern aufzubringende Leistung für Druckluft und Walzenrotation ausgeglichen oder übertroffen werden, sodass letztendlich zusätzliche Energie aufgebracht und der Zweck der Anwendung verfehlt würde.

Ob diese Form der Strömungsbeeinflussung also eine reale Netto-Leistungseinsparung zur Folge hat, muss folglich durch eine andere Kennzahl quantifiziert werden.

Zunächst verwenden wir für die Effizienzbetrachtung einen Leistungskoeffizienten, der als

$$PC = \frac{(W_0 - W) \cdot u_\infty}{\frac{1}{2}\dot{m}_j u_j^2 + 2P_M} \tag{1.8}$$

eingeführt wird.

Der Zähler drückt die eingesparte Widerstandsleistung des Falls mit aktiver Strömungsbeeinflussung im Vergleich mit dem neutralen Fall aus. Dieser Term quantifiziert somit, in welchem Umfang die Energiedissipation in der Strömung im zweiten Versuch reduziert wurde.

Der Nenner hingegen repräsentiert hingegen die Leistung welche dem Modell bzw. der Strömung von externer Quelle zugeführt werden muss, um den gewünschten Effekt zu erzielen.

Der erste Summand $\frac{1}{2}\dot{m}_j u_j^2$ charakterisiert die kinetische Leistung der Druckluft-Jets, die durch die Spalte ausgeblasen werden. Diese Darstellung vernachlässigt, dass die Druckluftbeaufschlagung in den Leitungen Verluste mit sich trägt und auch der Kompressor selber keinen optimalen Wirkungsgrad besitzt. Somit handelt es sich bei diesem Term um die idealisierte Jet-Leistung.

Der zweite Summand trägt dem Zustand Rechnung, dass die rotierenden Walzen von zwei Elektromotoren angetrieben werden müssen.

Impulskoeffizient (Folgt später)